

УДК 536.24



Микитюк П.Д.

Микитюк П.Д. канд. фіз.-мат. наук<sup>1,2</sup>  
Микитюк О.Ю. канд. фіз.-мат. наук, доцент<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,  
e-mail: anatysh@gmail.com;

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,  
Чернівці, 58012, Україна,  
e-mail: anatysh@gmail.com

<sup>3</sup>Вищий державний навчальний заклад України  
«Буковинський державний медичний університет»,  
Театральна площа, 2, Чернівці, 58002, Україна



Микитюк О.Ю.

## ЗАХИСТ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВІД ЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ

---

*Зроблено аналіз відомих способів захисту термоперетворювачів (ТП) від електричних перевантажень. Наведено опис та принцип дії розробленого електронного пристрою захисту ТП з гальванічною розв'язкою по електричному колу нагрівника. Створений пристрій дозволяє захищати ТП не менше як від 10-ти кратного навантаження. Бібл. 6, табл. 2, рис. 2.*

**Ключові слова:** термоперетворювач, перевантажувальна здатність, нагрівник, чутливість.

### Вступ

В електровимірювальній техніці, при вимірюваннях діючих значень змінної напруги і струму, термоелектричні перетворювачі (ТП) знайшли широке застосування [1].

Одним із важливих параметрів ТП є його здатність до електричних перевантажень – так звана перевантажувальна здатність. Так, як у більшості ТП температура спаю термопари при номінальному значенні напруги складає  $100 \div 150^\circ\text{C}$ , то збільшення напруги на нагрівнику ТП в 3-4 рази приводить до руйнування термопари і, відповідно, до виходу ТП з ладу. Тому перевантажувальна здатність ТП, як правило, не перевищує  $150 \div 200\%$  від значення номінальної напруги або струму.

Актуальність роботи обумовлена відсутністю надійного способу захисту ТП від електричних перевантажень, що не впливає на чутливість ТП.

Метою даної роботи є аналіз відомих методів захисту ТП від електричних перевантажень та розробка електронного пристрою захисту ТП від перевантажень, що вносить мінімальну додаткову похибку у вимірювальне електричне коло та надійно захищає ТП від перевантажень.

### Аналіз існуючих способів захисту ТП

Одним із найпростіших способів захисту ТП від випадкових перевантажень є включення послідовно з нагрівником ТП легкоплавкого запобіжника, виготовленого із мікропроводу [2].

Однак, через значні технологічні труднощі в створенні запобіжників із мікропроводу на струми менші за 20 мА і низьку надійність, такий спосіб захисту ТП від перевантажень не знайшов широкого практичного застосування.

На шляху пошуку інших шляхів вирішення зазначеної проблеми увага дослідників була звернена на можливість застосування для захисту ТП кремнієвих діодів. Такі способи захисту ТП розглядалися в роботах [3, 4]. Авторами цих робіт був досліджений ряд кремнієвих діодів і стабілітронів. Для захисту ТП використовувалась властивість кремнієвих діодів різко збільшувати струм при малій зміні напруги в області близькій до перегину вольт-амперної характеристики діоду. Суть пристрою полягала в тому, що паралельно до нагрівника ТП підключалася комбінація діодів, а напруга на нагрівник ТП подавалася через струмообмежувальний опір. При збільшенні напруги на нагрівнику до величини, що перевищувала її номінальне значення, діоди відкривались і шунтували нагрівник ТП.

Подібні пристрої для захисту ТП порівняно надійно захищають його від перевантажень, відрізняються простотою та дешевизною конструкції, але вносять велику (до 1%) додаткову похибку у вимірювання. Крім того, через шунтуючу дію діодів і резисторів, включених у вимірювальне коло, значно зменшується чутливість ТП.

Ще один спосіб захисту ТП від перевантажень за допомогою транзисторів розглянуто в [5], де описано пристрій захисту ТП, у якому застосування транзисторів для шунтування нагрівника ТП дозволяє розширити динамічний діапазон і збільшити чутливість пристрою захисту. Однак, і цей спосіб захисту ТП також не знайшов широкого застосування через недоліки, властиві способу захисту ТП за допомогою діодів.

Найкращий із відомих способів захисту ТП від електричних перевантажень розглянуто в роботі [6], у якій досліджувався автоматичний електронний пристрій захисту ТП. Такий пристрій містить електронну схему, що управляє або електронним реле, котре відключає нагрівник ТП від джерела струму, або шунтуючим нагрівник ТП транзистором.

Застосування електронних пристроїв захисту дозволяє надійно захистити ТП від перевантажень, але через те, що електронний пристрій підключається до входу ТП, додаткові похибки, що вносяться схемою є досить значними. Тому використання таких електронних пристроїв захисту ТП небажане для використання у прецизійних метрологічних ТП.

### **Електронний пристрій захисту ТП з гальванічною розв'язкою по колу нагрівника**

У всіх згаданих в розділі 1 пристроях захисту ТП від електричних навантажень сигнал, необхідний для керування елементом, що здійснює захист, знімається з електричного кола нагрівника. Це обов'язково вносить викривлення у вимірювальне коло та призводить до порівняно великих похибок вимірювань. Для виключення впливу схеми захисту на вхідне коло ТП було розроблено пристрій захисту ТП з гальванічною розв'язкою по колу нагрівника ТП.

Принцип роботи такого пристрою базується на зміні швидкості наростання вихідного імпульсу перевантаження. На рис. 1 наведена принципова схема пристрою захисту, який працює наступним чином.

При подачі вхідної напруги на нагрівник ТП його термопара генерує термоЕРС з величиною пропорційною величині цієї напруги. ТермоЕРС термопари подається на диференційну ланку СІРЗ, що формує імпульс, амплітуда якого є пропорційною швидкості наростання термоЕРС термопари. Імпульс подається на вхід імпульсного посилювача (транзистор  $T_1$  і операційний підсилювач  $A_1$ ). Підсилений сигнал з виходу імпульсного підсилювача, величина якого регулюється величиною зворотнього зв'язку ( $P_{11}$ - $P_{14}$ )

операційного підсилювача, подається на тригер 1.1. Якщо амплітуда імпульсу є достатньою для переключення тригера (тобто швидкість наростання термоЕРС буде більшою за її номінальне значення), то тригер переключається закриваючи транзисторний ключ ТЗ, в електронне коло колектора якого включена обмотка герконового реле. Реле обезструмиться і своїми контактами розімкне коло нагрівника ТП від джерела вхідної напруги, захистивши тим самим ТП від виходу з ладу.

При наявності в конструкції ТП двох нагрівників пристрій захисту спрацьовує аналогічним чином. Відмінність полягатиме лише в тому, що полярність термоЕРС на термодіоді матиме протилежне за знаком значення. Тому після імпульсного підсилювача стоїть фазоінвертор на транзисторі  $T_2$ , що перетворює від'ємний сигнал імпульсу в додатній і тригер 1.2 переключатиметься додатнім імпульсом.

### Експериментальні дослідження пристрою захисту ТП

Дослідження пристроїв захисту ТП на додаткову похибку компарування

Одною із основних характеристик диференційного ТП напруги є похибка компарування, що досліджувалась на одному диференційному ТП типу ДТП з номінальною напругою 1 В на частоті 1 кГц. Вимірювання проводилися як без пристрою захисту, так і з ним. Було досліджено 6 варіантів пристроїв захисту ТП. Дані вимірювань наведені в табл. 1.

*Таблиця 1*

*Результати експериментальних досліджень пристроїв захисту ТП  
на додаткову похибку компарування.*

№ пристрою захисту ТП	Похибка без пристрою захисту ТП, %	Похибка з пристроєм захисту, %	Додаткова похибка, що вноситься пристроєм захисту, %
1	0.0002	0.0003	0.0001
2	0.0002	0.0003	0.0001
3	0.0002	0.0002	0
4	0.0002	0.0004	0.0002
5	0.0002	0.0002	0
6	0.0002	0.0006	0.0004

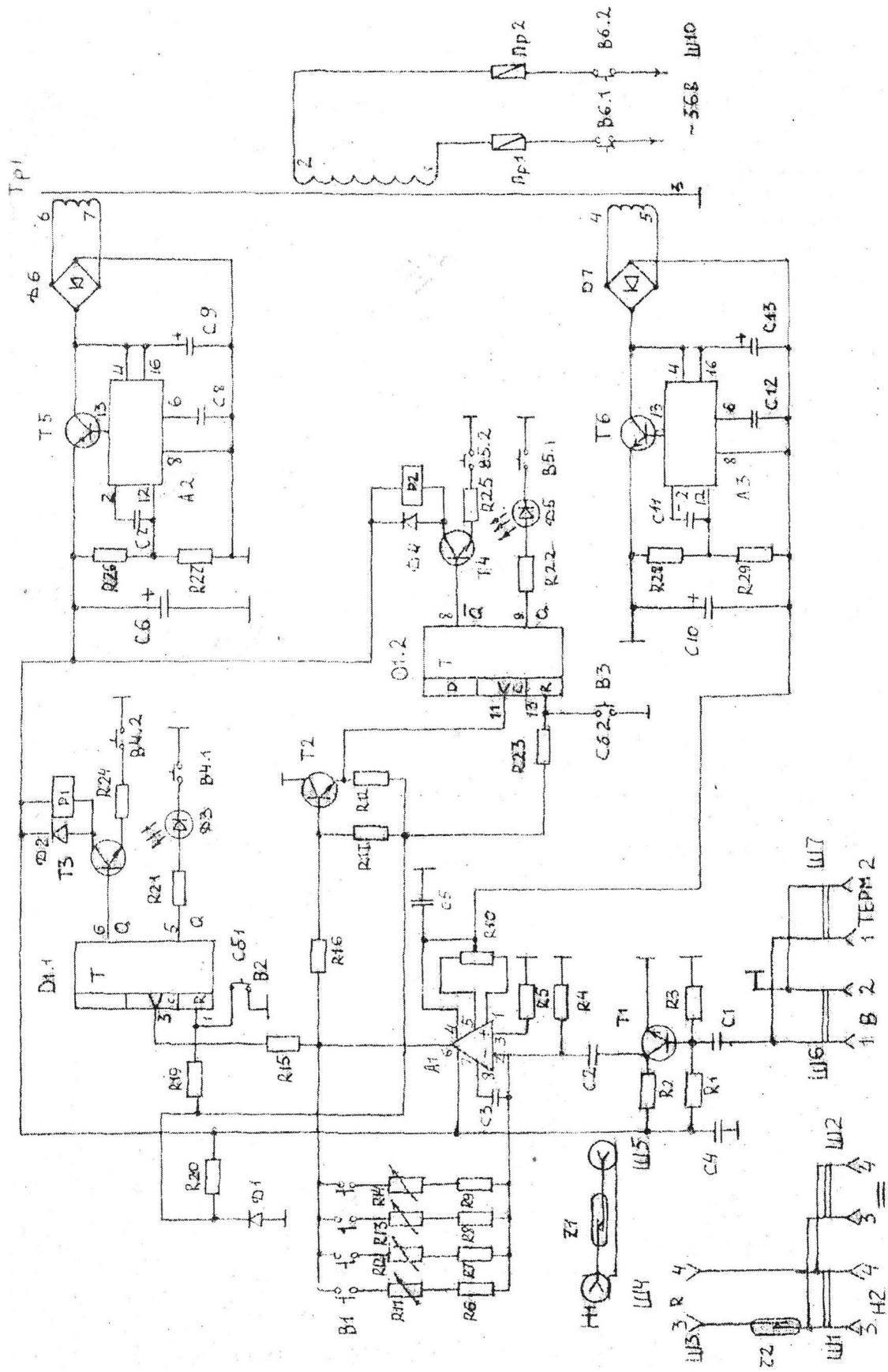


Рис. 1. Принципова схема електричного пристрою ТП.

Дослідження показали, що створені в Інституті термоелектрики електронні пристрої захисту ТП від електричних перевантажень практично не вносять суттєвої додаткової похибки в похибку компарування ТП типу ДТП.

### Частотна похибка ТП напруги, що вноситься пристроєм його захисту

Ще однією важливою характеристикою ТП є його частотна похибка. Частотна похибка вимірювалась на тому ж диференційному ДТП з номінальним значенням напруги 1В. Вимірювання проводилися як без електронного пристрою захисту ТП, так і з шістьма варіантами пристрою захисту ТП. Результати досліджень наведено в табл. 2.

*Таблиця 2*

*Дослідження пристроїв захисту ТП на частотну похибку*

Види досліджень ТП	Частотна похибка ДТП на частотах, кГц (%)					Додаткова похибка в частотну похибку ДТП на частотах, кГц (%)				
	0.02	0.4	1.0	10	100	0.02	0.4	1.0	10	100
Без електронного пристрою захисту	0.018	0.0073	0	0.0027	0.013					
З електронним пристроєм захисту										
№ 1	0.02	0.0095	0	0.0031	0.018	0.002	0.0022	0	0.0004	0.005
№ 2	0.029	0.0094	0	0.0103	0.019	0.011	0.0021	0	0.0076	0.006
№ 3	0.031	0.0098	0	0.0110	0.025	0.013	0.0025	0	0.0083	0.012
№ 4	0.023	0.0085	0	0.0052	0.021	0.005	0.0012	0	0.0025	0.008
№ 5	0.021	0.0093	0	0.0065	0.018	0.004	0.0020	0	0.0038	0.005
№ 6	0.027	0.0086	0	0.0079	0.020	0.009	0.0013	0	0.0052	0.007

Як видно з табл. 2, що електронні пристрої захисту ТП не вносять в частотну похибку ДТП значного вкладу.

### Швидкодія пристрою захисту ТП

Важливим параметром електронного пристрою захисту ТП є час реагування при випадковому попаданні на вхід ТП напруги, величина якої перевищує її номінальне значення.

Швидкодія пристрою захисту ТП визначалася наступним чином: ТП підключався до пристрою захисту і на його вхід з генератора прямокутних імпульсів протягом 1с. подавався імпульс перевантаження; паралельно до нагрівника ТП підключався осцилограф з функцією пам'яті; час спрацьовування (швидкодія) пристрою захисту ТП

вимірювалось як тривалість імпульсу перевантаження, сформованого ним на нагрівнику ТП.

На рис. 2 показано залежність швидкодії пристрою захисту  $t_{\text{сеп}}$  від відношення напруги перевантаження  $U$  номінальної напруги ТП  $U_{\text{н}}$ .

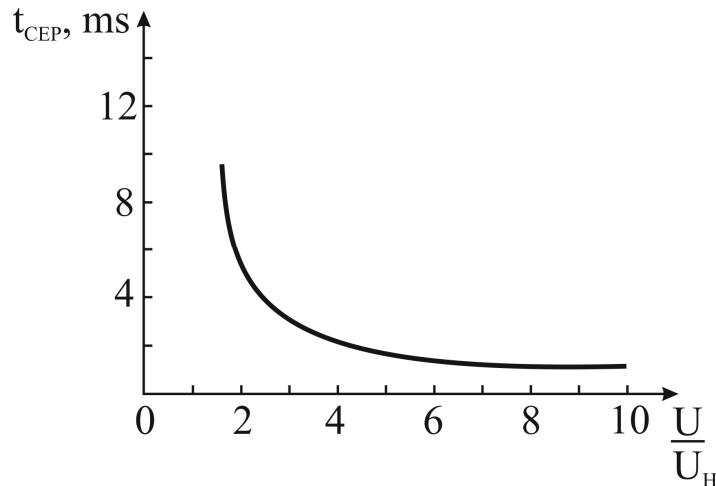


Рис. 2. Залежність швидкодії пристрою захисту ТП від відношення напруги перевантаження до номінальної напруги ТП.

З рис.2. видно, що при збільшенні перевантаження час спрацювання пристрою захисту зменшується і при 10-ти кратному перевантаженні він складає менше за 1мс, що відповідає виділенню енергії на нагрівнику ТП, величина якої є меншою за 1 мДж. Така кількість тепла є недостатньою для перегрівання спаю термопари та виведення ТП з ладу.

## Висновки

Розроблений електронний пристрій захисту ТП від електричних перевантажень з гальванічною розв'язкою по електричному колу нагрівника практично не впливає на основні параметри ТП і надійно захищає його від випадкових перевантажень, що в 10 і більше раз перевищують номінальне значення напруги або струму в ТП.

## Література

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник.- К.: Наукова думка, 1979.-768 с.
2. Бадинтер Е.Я. О номинальном токе слаботочных предохранителей. В сбю: «Микропровод и приборы сопротивления», вып. 6, Кишинев, «Картя молдовеняскэ», 1969 г.
3. Володин В.А. Использование полупроводниковых диодов для защиты от перегрузок по току.- Вопросы радиоэлектроники, сер III, вып. 5, 1965 г.
4. Зельдич Ю.В. Защита электроизмерительных приборов от перегрузок.- Измерительная техника, 1964 г., № 9.
5. Панчишин В.И. Авторское свидетельство № 144927. Бюллетень изобретений», 1962 г. № 4.
6. Котельников Н.И. Автомат для защиты термопреобразователей. Измерительная техника, 1981 г. № .

Надійшла до редакції 14.09.2018

**Микитюк П.Д.** канд. физ.-мат. наук<sup>1,2</sup>  
**Микитюк О.Ю.** канд. физ.-мат. наук, доцент<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, ул.  
Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,  
*e-mail: anatyach@gmail.com;*

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича,  
ул. Коцюбинского 2, Черновцы, 58012, Украина,

<sup>3</sup>Высшее государственное учебное заведение Украины  
«Буковинский государственный медицинский университет»,  
Театральная площадь, 2, Черновцы, 58002, Украина

## **ЗАЩИТА ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРЕГРУЗОК**

Сделан анализ известных способов защиты термопреобразователей (ТП) от электрических перегрузок. Приведено описание и принцип действия разработанного электронного устройства защиты ТП с гальванической развязкой по электрической цепи нагревателя. Созданное устройство позволяет защищать ТП не менее как от 10-ти кратной перегрузки.  
*Библ. 6, табл. 2, рис. 2.*

**Ключевые слова:** термопреобразователь, перегрузочная способность, нагреватель, чувствительность.

**P.D. Mykytiuk**<sup>1,2</sup>. *Cand.Sc. (Physics and Mathematics)*<sup>1,2</sup>  
**O.Yu. Mykytiuk**<sup>3</sup>. *Cand.Sc. (Physics and Mathematics), Assistant Professor*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine, 1,  
Nauky str, Chernivtsi, 58029, Ukraine;  
*e-mail: anatyach@gmail.com;*

<sup>2</sup>Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,  
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

<sup>3</sup>Higher State Educational Institution of Ukraine “  
Bukovinian State Medical University”,  
2, Theatre Square, Chernivtsi, 58002, Ukraine

## **Protection of thermoelectric converters against electrical overloads**

*The analysis of the known methods for protection of thermoelectric converters (TC) against electrical overloads is made. The description and operating principle of the developed electronic protection device with a galvanic decoupling on the electric circuit of the heater is given. The created device allows protection of TC from at least 10 times the load.*

**Key words:** thermoelectric converter, overload capacity, heater, sensitivity.

### References

1. Anatyshuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskie ustroystva: Spravochnik [Thermoelements and thermoelectric devices: Handbook]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
2. Badinter E.Ya. (1969). *O nominalnom toke slabotochnykh predokhranitelei. V sbornike: Mikroprovod i pribory soprotivleniia, vypusk 6 [On the nominal current of low current fuses. In: Microwire and resistance devices, issue 6]*. Kishinev: Cartea Moldoveneasca [in Russian].
3. Volodin V.A. (1965). *Ispolzovaniie poluprovodnikovykh diodov dlia zashchity ot peregruzok po toku [The use of semiconductor diodes for protection against overcurrent]. Voprosy radioelektroniki, ser. III, issue 5 [in Russian]*.
4. Zeldich Yu.V. (1964). *Zashchita elektroizmeritelnykh priborov ot peregruzok [Overload protection of electrical measuring devices]. Izmeritelnaia tekhnika – Measurement Techniques, 9 [in Russian]*.
5. Certificate of Authorship № 144927 (1962). Panchishin V.I. *Bulletin of inventions, № 4*.
6. Kotelnikov N.I. (1981). *Avtomat dlia zashchity termopreobrazovatelei [Automatic device for the protection of thermal converters]. Izmeritelnaia tekhnika – Measurement Techniques, [in Russian]*.

Submitted 14.09.2018